

Možnosti spresnenia výsledkov inžinierskogeologického prieskumu monitorovaním procesu razenia

Vít'azoslav Krúpa¹ & Edita Lazarová²

Possibilities of improving exactness of engineering-geology research results by the monitoring of the driving process

In detail engineering-geology, hydrology and geotechnical research at driving a part of exploration gallery Branisko was fulfilled by results of computer application for the computing monitoring information of TBM driving process according to different viewpoints. A high density of the gathered information made it possible to determine a methodics for the classification of strength rock mass properties, to identify the influence of the rock mass damage and to apply some methods of rock classification. In the article are presented some results of the RQD coefficient determination, coefficient of burden by Terzag's and the rock classification according to Protodjakonov. For each geologic entirety defined by the research, achieved results are compared with the engineering-geology research results. In the contribution, in a table form are elaborated values of four methods of determination: the RQD coefficient, the rock burden coefficient, and the Terzaghys and Protodjakonov methods of rock classification. For the 42 geologic sections of the total length of 2340m that was driven by a full profile driving machine Wirth TB-II-330H/M (geologic sections were defined by in detail geological, engineering geological, hydrological and geotechnical exploration elaborated by employees of INGEO, a.s., Žilina), and were compared to the results of the rock categorization according to the classification classes defined by Deere, Terzaghi and Protodjakonov. The classification of the rocks into categories was based on the arithmetic average of defined values. The values of deviation or dispersion or coefficient of variation were not considered. From the graphical result presentation of the methods for the chosen 500 m section of the exploratory gallery of the motorway tunnel Branisko (that are presented by the values gained from the computer monitoring process), it results, that in geological units it is possible to determine local changes of rock properties. These local changes during detailed statistics elaboration are shown by the amount of dispersion.

Key words: precise exploration by driving the exploratory gallery, full profile driving, electronic geomechanical monitoring.

Úvod

Podrobný inžinierskogeologický prieskum pre účely razenia tunelových stavieb realizovaných plnoprofilovými raziacimi strojmi, má dať dostatočné množstvo exaktných informácií o nasledovných okruhoch otázok (Klepsatel & Ledényiová, 2000):

1. Doba stability nezapaženého výrubu, počas ktorej je nutné výrub spoľahlivo a hospodárne zabezpečiť.
2. Najhospodárnejší spôsob rozpojovania horniny.
3. Spôsob prenosu reakcií od prítlačných síl a krútiacich momentov z vírtacej hlavy.
4. Maximálna veľkosť a časový priebeh konvergencií výrubu.

V prípade, že sa razenie prieskumnej štôlne realizuje plnoprofilovým raziacim strojom, umožňuje monitorovanie procesu razenia doplnenie, spresnenie a hlavne „zhustenie“ informácií. Prvou aplikáciou plnoprofilového strojného razenia prieskumnej štôlne pre diaľničný tunel na Slovensku, bolo razenie východnej časti štôlne pod Braniskom. Razenie realizovali Banské stavby, a.s., Prievidza, raziacim strojom Wirth TB-II-330H/M. Na tomto stroji bol inštalovaný monitorovací a optimalizačný počítačový systém, ktorý zabezpečoval v reálnom čase informácie o efektívnosti a priebehu razenia pre obsluhu a tvorbu databanky o vstupných a výstupných veličinách procesu razenia. Analýza databanky, v kontexte s výsledkami klasického podrobného inžinierskogeologického prieskumu, uskutočneného pracovníkmi INGEO, a. s., Žilina (Bohyník et al., 1997 a 1998), umožnila vypracovať nové postupy identifikácie zmien vlastností razeného horninového masívu a využiť tiež niektoré známe klasifikačné triedenia hornín a horninových masívov. V článku prezentujeme výsledky určenia RQD (Rock Quality Designation) koeficienta, Terzaghiho súčiniteľa zaťažiteľnosti a klasifikačného triedenia hornín podľa Protodjakonova, ktoré sú výsledkom spracovania monitorovaných údajov.

Použité metodiky

Koeficient RQD (Deere, 1964; Cording et al., 1972; Bieniawski, 1984; ISRM, 1977; Lemy et al., 2000), sa používa pre hodnotenie porušenia horninového masívu. Predstavuje percento výnosu vrtného jadra, daného súčtom dĺžok $\sum_{i=1}^n x_i$ všetkých čiastkových jadier na celej dĺžke vrtu L, ktoré prevyšujú tzv. prahovú hodnotu (t).

¹ Ing. Vít'azoslav Krúpa, CSc., Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 04353 Košice, e-mail: krupa@saske.sk

² Ing. Edita Lazarová, CSc., Ústav geotechniky SAV, Watsonova 45, 04353 Košice, e-mail: lazarova@saske.sk
(Recenzované v roku 2000)

Teda

$$RQD=100 \cdot \sum_{i=1}^n x_i(>t)/L \quad [\%] \quad (1)$$

Deere a Hendron navrhli pre prahovú hodnotu veľkosť $t = 10$ cm. Týmto konvenčným spôsobom sa hodnotil koeficient RQD [%] aj pri podrobnom inžinierskogeologickom a hydrogeologickom prieskume prieskumnej štôlne Branisko (Bohynik et al., 1997 a 1998). Okrem konvenčného spôsobu navrhnutého Deerom, je možné RQD určiť z intervalov diskontinuit x_i (vzájomných vzdialeností diskontinuit), zmeraných na stenách prieskumnej štôlne, resp. z ich inverzných hodnôt $\lambda_i=1/x_i$, t.j. z ich frekvencií výskytu na jednom metri (Slivovský, 1999). Výsledkom riešenia je tzv. minimalizovaný index RQD_{min}

$$RQD_{min} \approx 100(1-\lambda t), \quad [\%] \quad (2)$$

kde λ je priemerný počet diskontinuit na bežnom metri, alebo teoretický RQD^*

$$RQD^* \approx 100e^{-\lambda t}(\lambda t + 1) \quad [\%] \quad (3)$$

Vo vzťahu (2) a (3) je možné hodnotu t voliť.

Z monitorovaných údajov procesu razenia sa približná hodnota obdobného koeficienta RQD_{teor} určila z regresnej závislosti medzi pôvodným koeficientom RQD a uhlom vnútorného trenia horniny, ktorý bol stanovený z matematického modelu

$$\varphi_M = 90^\circ - \arcsin \frac{2\tau_{SK}}{\sigma_{tH}} = 90^\circ - \arcsin(3,3564 \cdot C) \frac{360^\circ}{2\pi}, \quad [^\circ] \quad (4)$$

kde τ_{SK} je modelová šmyková pevnosť, σ_{tH} je modelová pevnosť v prostom tlaku, C je rezný koeficient.

Regresná závislosť pri 42-och priemerných hodnotách RQD [%] a φ_M [°] má pre podmienky prieskumnej štôlne Branisko tvar

$$RQD_{teor} = 1,6663 \varphi_M - 56,687, \quad [\%] \quad (5)$$

$$r = 0,7568,$$

$$r_p = 0,3932,$$

kde φ_M je uhol vnútorného trenia masívu z monitoringu, r - koeficient korelácie, r_p - kritická hodnota koeficienta korelácie podľa t rozdelenia, pre pravdepodobnosť $p = 0,01$.

Deere (1964) uvádza nasledovné klasifikačné triedenie hornín podľa koeficienta RQD, (tab.1).

Tab.1. Klasifikácia hornín podľa RQD. Tab.2. Klasifikácia hornín podľa Terzaghiho. Tab.3. Klasifikácia hornín podľa Protodjakonova (upravené).

Tab.1. Classification of rocks according to RQD. Tab.2. Classification of rocks according to Terzaghi. Tab.3. Classification of rocks according to Protodjakonov (edited).

Tab.1

RQD [%]	Kvalita horniny
< 25	Veľmi zlá
25- 50	Zlá
50- 75	Stredná
75- 90	Dobrá
90-100	Výborná

Tab.2

c'_t	Terzaghiho triedenie
0 -0,10	pevná hornina
0,10-0,25	pevná, vrstevnatá hornina
0,25-0,50	masívna s nepriebežnými puklinami
0,50-0,70	riedko rozpukaná hornina
0,70-2,20	husto rozpukaná hornina
2,20-2,76	úplne rozdrvená hornina
2,76-4,20	tlačivá v malej hĺbke
4,20-9	tlačivá vo veľkej hĺbke

Tab.3

Trieda	f_p [-]	φ [°]	Stupeň pevnosti	Triedenie
I.	20,0	87,133	najpevnšie	14
II.	15,0	86,183	veľmi pevné	13
III.	10,0	84,3	pevné	12
III.a	8,0	82,533	pevné	11
IV.	6,0	80,533	dost' pevné	10
IV.a	5,0	78,683	dost' pevné	9
V.	4,0	75,966	stredne pevné	8
V.a	3,0	71,966	stredne pevné	7
VI.	2,0	63,433	dost' mäkké	6
VI.a	1,5	56,317	dost' mäkké	5
VII.	1,0	45	mäkké	4
VII.a	0,8	38,666	mäkké	3
VIII.	0,6	30,966	zemité horniny	2
IX.	0,5	26,583	sypké	1

Terzaghiho klasifikácia zaťažiteľnosti hornín bola odvodená v jeho práci (Terzaghi, 1946), ktorú podrobne opísal (Bieniawski, 1984). Aj keď niektorí autori tvrdia, že metóda nedáva spoľahlivé odpovede na technické projekčné otázky a jej praktické využitie je len pre oceľovú výstuž (Cecil, 1970) v (Bieniawski, 1984), jej ďalšie aplikácie ukazujú opak. Je to metóda, ktorá aj keď vychádza z heuristických poznatkov, výsledné riešenie ponúka v matematickej forme. Tým umožňuje vypočítať (pri využití počítačovej techniky aj simulovať) pravdepodobnú veľkosť ovplyvnenej zóny horninového masívu po vyrazení podzemného diela. Pre kruhové

líniové podzemné dielo, čo je prípad plnoprofilového razenia, modifikoval Terzaghiho výpočet Rose, (Rose, 1982). Výsledný vzťah pre výpočet Terzaghiho súčiniteľa zaťažiteľnosti hornín je publikovaný napr. v prácach (Kato, 1988; Gärtner, 1999), odkiaľ

$$c'_t = \frac{1 + 2\text{tg}(45^\circ - \frac{\varphi}{2})}{2f_p}, \quad [-] \quad (6)$$

$$c''_t = 0,5c'_t, \quad [-]$$

kde φ je uhol vnútorného trenia horniny, f_p je súčiniteľ pevnosti podľa Protodjakonova. Prepojenie Terzaghiho klasifikácie zaťažiteľnosti hornín s elektronickým geomechanickým monitoringom odstraňuje doposiaľ jedinú bariéru, ktorá jej rozšíreniu bránila. Tým bol hlavne nedostatok údajov pre jej exaktné overenie v praxi. V tab.2 je uvedené triedenie pevnosti hornín podľa Terzaghiho.

Klasifikačné triedenie hornín podľa Protodjakonova je uvedené napr. v práci (Valachovič et al., 1977), pozri tab.3.

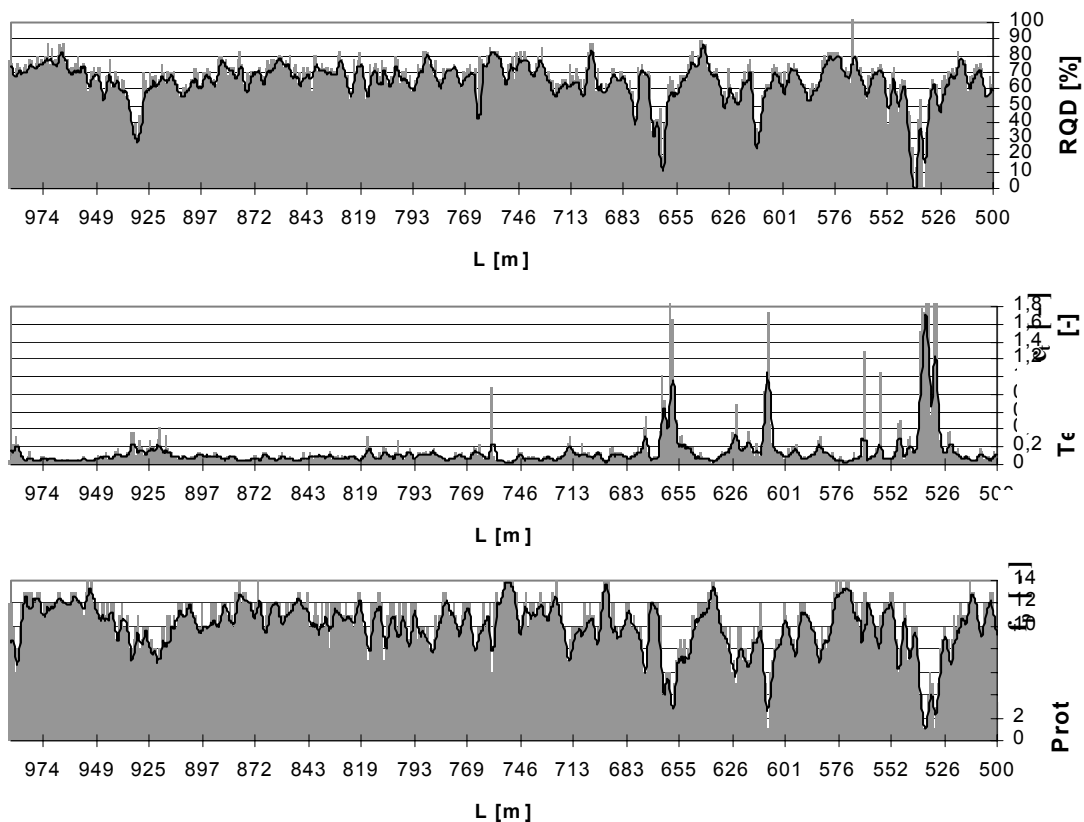
Pre výpočet súčiniteľa pevnosti podľa Protodjakonova bol odvodený výraz

$$f_p = \frac{1}{10} \sigma_{II}, \quad [-] \quad (7)$$

kde σ_{II} – medza pevnosti v prostom tlaku [MPa].

Výsledky

Úsek prieskumnej štólne Branisko, razený raziacim strojom, bol rozdelený inžinierskogeologickým prieskumom do 42-och geologických celkov (I.-XLII.). Podľa horeuvedených metodík boli dosiahnuté výsledky zhrnuté do tab.4. Pre úsek od 500 m do 1000 m sú získané hodnoty RQD_{teor} , Terzaghiho súčiniteľa c'_t a klasifikačné triedenie podľa Protodjakonova f_p ilustrované na obr.1. Z obr.1 je zrejmé, že charakterovanie vlastností horninového masívu v geologických celkoch (tabuľka 4 udáva hodnoty aritmetických priemerov



Obr.1. RQD_{theor} , c_t a f_p v závislosti od staničenia pre vybraný úsek prieskumnej štólne Branisko.
 Fig.1. RQD_{theor} , c_t and f_p depending on position for chosen section of exploratory gallery Branisko.

sledovaných veličín) je možné spresňovať ďalšími štatistickými charakteristikami, napr. smerodajnou odchýlkou, rozptylom, alebo variačným koeficientom. Tieto štatistické charakteristiky umožňujú definovať pre jednotlivé geologické celky aj variabilitu vlastností horninového masívu, ktorá pravdepodobne súvisí s hustotou, smerom, otvorenosťou, povrchom a výplňou diskontinuit.

Tab.4. Priemerné hodnoty koeficientov RQD, súčiniteľa pevnosti Protodjakonova f_p , Terzaghiho súčiniteľa zaťažiteľnosti horniny c_t a zatriedenie hornín do klasifikačných tried.

Tab.4. Average values of RQD coefficients, Protodjakonov strength coefficient f_p , Terzaghi's coefficient of rock burden c_t and classification of rock to classification groups.

ÚSEK	P.ST. [m]	K.ST. [m]	RQD [%]	RQD _{teor} [%]	RQD _{min} [%]	RQD* [%]	f_p [-]	c_t [-]	RQD Trieda	RQD _{teor} Trieda	RQD _{min} Trieda	RQD* Trieda	Protodjakonov Stupeň pevnosti horniny	Protodj. Trieda	Terzaghi triedenie
I.	139	183	55	50,3	46,0	57,8	3,76	0,163	Stredná	Stredná	Zlá	Stredná	stredne pevné	V.a	pevná, vrstevnatá hornina
II.	183	191	50	40,8	46,0	57,8	3,90	0,246	Stredná	Zlá	Zlá	Stredná	stredne pevné	V.a	pevná, vrstevnatá hornina
III.	191	200	50	54,3	46,0	57,8	8,24	0,095	Stredná	Stredná	Zlá	Stredná	dosť pevné	IV.	pevná hornina
IV.	200	226	70	63,6	80,0	90,0	10,93	0,071	Stredná	Stredná	Dobrá	Dobrá	pevné	III.a	pevná hornina
V.	226	298	70	64,2	80,0	90,0	12,74	0,061	Stredná	Stredná	Dobrá	Dobrá	pevné	III.a	pevná hornina
VI.	298	348	50	52,5	46,0	57,8	4,77	0,186	Stredná	Stredná	Zlá	Stredná	stredne pevné	V.	pevná, vrstevnatá hornina
VII.	348	426	55	58,0	60,0	71,2	6,55	0,135	Stredná	Stredná	Stredná	Stredná	dosť pevné	IV.a	pevná, vrstevnatá hornina
VIII.	426	482	55	58,5	60,0	71,2	7,49	0,120	Stredná	Stredná	Stredná	Stredná	dosť pevné	IV.a	pevná, vrstevnatá hornina
IX.	482	526	60	62,9	70,0	80,9	8,30	0,102	Stredná	Stredná	Stredná	Dobrá	dosť pevné	IV.	pevná, vrstevnatá hornina
X.	526	540	35	42,9			2,04	0,852	Zlá	Zlá			mákké	VII.	husto rozpukaná hornina
XI.	540	590	55	62,5	60,0	71,2	8,95	0,123	Stredná	Stredná	Stredná	Stredná	dosť pevné	IV.	pevná, vrstevnatá hornina
XII.	590	652	55	61,8	60,0	71,2	6,28	0,185	Stredná	Stredná	Stredná	Stredná	stredne pevné	V.	pevná, vrstevnatá hornina
XIII.	652	680	50	52,2			5,19	0,327	Stredná	Stredná			stredne pevné	V.a	masívna s nepriebežnými puklinami
XIV.	680	720	70	62,6	80,0	90,0	8,28	0,105	Stredná	Stredná	Dobrá	Dobrá	dosť pevné	IV.a	pevná, vrstevnatá hornina
XV.	720	770	70	66,0	80,0	90,0	10,82	0,081	Stredná	Stredná	Dobrá	Dobrá	pevné	III.a	pevná hornina
XVI.	770	850	60	65,0	80,0	90,0	8,35	0,092	Stredná	Stredná	Dobrá	Dobrá	dosť pevné	IV.	pevná hornina
XVII.	850	916	65	64,6	80,0	90,0	9,28	0,081	Stredná	Stredná	Dobrá	Dobrá	dosť pevné	IV.	pevná hornina
XVIII.	916	947	55	56,6	60,0	71,2	6,24	0,135	Stredná	Stredná	Stredná	Stredná	dosť pevné	IV.a	pevná, vrstevnatá hornina
XIX.	947	1025	70	67,7	80,0	90,0	11,94	0,067	Stredná	Stredná	Stredná	Stredná	pevné	III.a	pevná hornina
XX.	1025	1054	50	60,6	60,0	71,2	7,77	0,126	Stredná	Stredná	Stredná	Stredná	dosť pevné	IV.a	pevná, vrstevnatá hornina
XXI.	1054	1072	60	60,7	80,0	90,0	5,51	0,127	Stredná	Stredná	Dobrá	Dobrá	stredne pevné	V.	pevná, vrstevnatá hornina
XXII.	1072	1108	50	54,0	60,0	71,2	4,95	0,169	Stredná	Stredná	Stredná	Stredná	stredne pevné	V.	pevná, vrstevnatá hornina
XXIII.	1108	1193	65	53,1	76,0	86,5	8,70	0,110	Stredná	Stredná	Stredná	Dobrá	dosť pevné	IV.	pevná, vrstevnatá hornina
XXIV.	1193	1234	75	66,4	76,0	86,5	14,75	0,059	Dobrá	Stredná	Stredná	Dobrá	pevné	III.a	pevná hornina
XXV.	1234	1263	60	71,8	80,0	90,0	8,44	0,073	Stredná	Stredná	Dobrá	Dobrá	pevné	III.a	pevná hornina
XXVI.	1263	1295	70	68,0	76,0	86,5	14,70	0,044	Stredná	Stredná	Stredná	Dobrá	pevné	III.	pevná hornina
XXVII.	1295	1320	80	68,5	85,0	93,8	14,14	0,045	Dobrá	Stredná	Dobrá	Výborná	pevné	III.	pevná hornina
XXVIII.	1320	1358	80		85,0	93,8			Dobrá		Dobrá	Výborná			
XXIX.	1358	1390	65		73,4	84,1			Stredná		Stredná	Dobrá			
XXX.	1390	1428	75		82,8	92,2			Dobrá		Dobrá	Výborná			
XXXI.	1428	1508	70	72,0	80,0	90,0	7,86	0,085	Stredná	Stredná	Dobrá	Dobrá	dosť pevné	IV.	pevná hornina
XXXII.	1508	1591	60		65,7	76,8			Stredná		Stredná	Stredná			
XXXIII.	1591	1674	70		73,4	84,1			Stredná		Stredná	Dobrá			
XXXIV.	1674	1745	75		80,0	90,0			Dobrá		Dobrá	Dobrá			
XXXV.	1745	1916	80	76,0	82,8	92,2	13,94	0,047	Dobrá	Dobrá	Dobrá	Výborná	pevné	III.	pevná hornina
XXXVI.	1916	1973	65	79,3	73,4	84,1	11,36	0,056	Stredná	Dobrá	Stredná	Dobrá	pevné	III.	pevná hornina
XXXVII.	1973	2077	75	81,4	80,0	90,0	12,65	0,048	Dobrá	Dobrá	Dobrá	Dobrá	pevné	III.	pevná hornina
XXXVIII.	2077	2105	60	84,0	70,0	80,9	7,85	0,073	Stredná	Dobrá	Stredná	Dobrá	dosť pevné	IV.	pevná hornina
XXXIX.	2105	2148	75	81,1	80,0	90,0	10,48	0,058	Dobrá	Dobrá	Dobrá	Dobrá	pevné	III.	pevná hornina
XL.	2148	2163	60	86,8	70,0	80,9	6,16	0,095	Stredná	Dobrá	Stredná	Dobrá	dosť pevné	IV.a	pevná hornina
XLI.	2163	2258	75	82,9	80,0	90,0	7,79	0,102	Dobrá	Dobrá	Dobrá	Dobrá	dosť pevné	IV.a	pevná, vrstevnatá hornina
XLII.	2258	2292	80	84,3	80,0	90,0	12,63	0,045	Dobrá	Dobrá	Dobrá	Dobrá	pevné	III.	pevná hornina

Poznámky:

- 1) Tab.4 je uvedená na samostatnom liste.
- 2) Hodnoty RQD_{teor}, c_t a f_p sú reprezentované hodnotami aritmetického priemeru veličín, určených z monitorovaných údajov razenia.
- 3) Hodnoty RQD_{min} a RQD* sú určené pre $t=0,1m$, pozri vzťahy (2) a (3).
- 4) P.ST. a K.ST. je počiatkové a konečné staničenie úseku (vzdialenosť od východného portálu prieskumnej štôlne).

Záver

Informácie o procese razenia a o zmenách vlastností rozpojovaných hornín, ktoré poskytuje elektronický geomechanický monitoring, spresňujú poznatky podrobného geologického, inžinierskogeologického, hydrogeologického a geotechnického klasického prieskumu. Hustota týchto informácií je rádovo vyššia oproti klasickým metódam, čo dovoľuje zachytiť tiež lokálne zmeny vlastností horninového masívu do dokumentácie. Využitie tejto metódy počas razenia by umožnilo predikovať nebezpečné poruchové zóny, a tým chrániť strojné zariadenie, resp. vo fáze projekčnej prípravy diaľničného tunela spresňovať technické požiadavky na jeho vystrojenie. Tab.4 spracovaná pre jednotlivé geologické celky poukazuje na to, že hodnoty koeficientov RQD, získaných klasickými postupmi a vypracovanou metodikou stanovovania z monitorovaných hodnôt procesu razenia, sú navzájom porovnateľné.

Literatúra

- BIENIAWSKI, Z.T. 1984. Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling. *A.A. Balkema*, Rotterdam, 1984.
- BOHYNÍK, J., ZÁTHURECKÝ, A., MOLČAN, T., LENÁRTOVÁ, J., ŠIMEK, M., LENKOVÁ, M. & FRLÍČKOVÁ, M. 1998. Podrobný inžinierskogeologický a hydrogeologický prieskum diaľnice D1 Behárovce-Branisko, časť B - tunel Branisko. [Čiastkové správy č.5 a č.6], INGENEO, a.s., Žilina, 1997, 1998.

- CECIL, O.S. 1970. *Correlation of Rockbolts-Shotcrete Support and rock Quality Parameters in Scandinavian Tunnels*. University of Illinois, 1970.
- CORDING, E.J., HENDRON, A.J. & DEERE, D.U. 1972: Rock Engineering for Underground Caverns. *Proceedings, Symposium on Underground Rock Chambers, American Society of Civil Engineers*, Phoenix, Arizona, 1972, pp. 567-600.
- DEERE, D.U. 1964. Technical Description of Rock Cores for Engineering Purposes. *Rock Mechanics and Engineering Geology*, Vol.1, No.1, 1964, pp. 17-22.
- GÄRTNER, P. 1999. Klasifikácia podmienok horninového masívu na tuneli Branisko klasifikačnými metódami a pomocou GEM. *Diplomová práca*, TU Košice, 1999, 60 s.
- ISRM, 1977: Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Masses. *Int. J.Rock. Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr.* Vol. 15, 1977, pp. 319-368.
- KATO, A. 1988. Príspevok k riešeniu problému stability pri razení podzemných diel beztrhavinovou technológiou tunelovacími strojmi. *KDP*, VŠB Ostrava, 1988, 182 s.
- KLEPSATEL, F. & LEDÉNYIOVÁ, T. 2000. Geologicko-geotechnický prieskum pre strojné razenie dopravných tunelov. *Geotechnika1/2000*, (ed.) Barták, J. & Jeřábek, M., Čeněk a Ježek, ISSN 1211-913X, s. 3-7.
- LEMY, F., HADJIGEORGIOU, J., CÔTÉ, P. & MALDAGUE, X. 2000. Geomechanical Core „Zogging“ Using Image Analysis Techniques. *Proceedings, Eurock 2000*, 2000, Aachen, pp. 275-280.
- ROSE, D. 1982. Revising Terzaghi's tunnel rock load coefficients. *Proc. 23rd U.S. Symposium on Rock Mechanics*, AIME, New York, 1982, pp. 953-960.
- SLIVOVSKÝ, M. 1999. Index RQD v hodnotení kvality geologického prostredia. In: *Medzinárodní vědecká konference*, Sekce č.5 Geotechnika, VUT Brno, 1999, s.149-152.
- TERZAGHI, K. 1946. Rock Defects and Loads on Tunnel Support. *Rock Tunneling with Steel Supports*, (eds.) R.V. Proctor and F. White, Commercial Shearing Co., Youngstown, Ohio, 1946, pp.15-99.
- VALACHOVIČ, F., PUZDER, J., DOJČÁR, O., EXNER, K., ALDORF, J., HATALA, J. & SMOLKO, M. 1977. Razenie banských diel. *ALFA*, Bratislava 1977, 643 s.